

## Optimasi Proses *Multi-Pass Equal Channel Angular Pressing* dengan Simulasi Komputer

Moch. Agus Choiron, Khairul Anam, Totok Tri Prasetyo  
Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya  
Jl. MT. Haryono 167, Malang 65145 Indonesia  
E-mail: agus\_choiron@ub.ac.id

### Abstract

*UFG (Ultra-fine grained) material is a material with a grain size between 10 nm to 1000 nm were developed to improve the quality of the material microstructure by reducing the grain size. Equal Channel Angular Pressing (ECAP) is a method to produce the UFG material by utilizing the shear stress on the material. Shear stress distribution in the material as it passes through the channel intersection is important to investigate so that it can be known the die design that can produce a uniform shear stress distribution in the material. In this study, computer simulation of multi-pass ECAP is carried out as the initial prediction for reducing the trial-error ECAP process. Multi-pass ECAP process is modeled with software based on Finite Element Method (FEM). Optimization is done with L9 Taguchi which parameters are number of pass, angle of intersection, outer fillet, and friction coefficient. By measuring the distribution of shear stress and plastic strain on the model will be generated optimization of multi-pass ECAP process. In the present study, the optimum setting for equal channel angular pressing processes are pass of 6, intersection angle of 90°, outer fillet radii of 2 mm and coefficient friction of 0,1.*

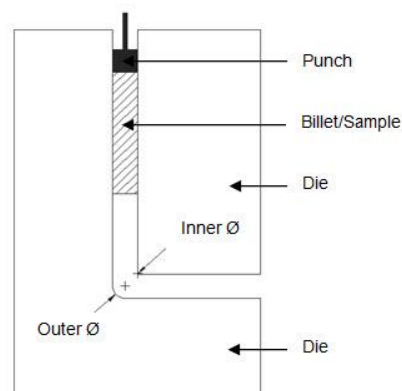
**Keywords:** ECAP, multi-pass, Taguchi method, shear stress, plastic strain.

### PENDAHULUAN

Penyempurnaan butiran (*grain refinement*) adalah salah satu teknik yang digunakan untuk menghasilkan butiran yang halus pada logam sehingga kekuatan dan keuletan pada logam tersebut akan meningkat. Salah satu metode yang paling efektif dalam *grain refinement* adalah deformasi plastis yang menyeluruh (*severe plastic deformation, SPD*) pada logam [1]. *Severe plastic deformation* merupakan sebuah prosedur pembentukan logam dimana *grain refinement* terbentuk karena adanya regangan yang tinggi pada logam [2].

Dari beberapa proses dalam *severe plastic deformation*, *equal channel angular pressing (ECAP)* adalah proses yang paling sering digunakan untuk menghasilkan struktur butir yang sangat halus pada logam dan paduan tanpa mengubah bentuk atau dimensinya. Halusnya struktur butir ini akan berpengaruh pada kekuatan dan keuletan pada *billet* (logam atau paduan yang

digunakan dalam proses ECAP) [1]. Proses ECAP ini sangat cocok digunakan pada paduan aluminium karena mampu menghasilkan butiran yang sangat halus mencapai 200 - 500 nm. Konfigurasi dari proses ECAP ditunjukkan oleh Gambar 1.



**Gambar 1.** Konfigurasi dari proses ECAP.

Software yang berbasis elemen hingga

merupakan sebuah alat yang cocok untuk menganalisa dan memahami perilaku dan deformasi logam yang terjadi pada proses ECAP. Selain itu distribusi tegangan dan regangan pada logam setelah dilakukan proses ECAP bisa diketahui. Banyak penelitian tentang proses ECAP yang memanfaatkan *software* yang berbasis elemen hingga. Seperti penelitian tentang pengaruh koefisien gesek antara *billet* dan *die* pada proses ECAP [3], penelitian tentang pengaruh jari-jari luar *die* pada proses ECAP dengan menggunakan *software* berbasis elemen hingga [4], dan penelitian pengaruh jari-jari luar dan temperatur pada *billet* dan *die* pada proses ECAP [5].

Dari penelitian sebelumnya, proses ECAP dilakukan dengan proses multi-pass, sedangkan simulasi komputer yang dikembangkan selama ini masih memanfaatkan satu-pass. Agar optimasi proses ECAP dapat memberikan prediksi awal yang mendekati hasil eksperimen, maka penting dilakukan simulasi komputer multi-pass ECAP sehingga mampu mengurangi proses *trial-error*. Optimasi proses dilakukan dengan metode *Taguchi*, dengan cara mengukur distribusi tegangan geser dan regangan plastis yang dihasilkan dari simulasi komputer pada model.

## METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental semu yaitu metode simulasi dengan menggunakan *software* yang berbasis elemen hingga. Pemodelan yang digunakan adalah pemodelan 2-dimensi (2D). Hal ini dikarenakan geometri *billet*, *die* dan *punch* memiliki kesamaan ukuran pada salah satu sumbu yaitu sumbu z. *Billet* yang digunakan pada penelitian ini memiliki ukuran 5x5x25 mm yang terbuat dari bahan Aluminium AA1050 (Al AA1050).

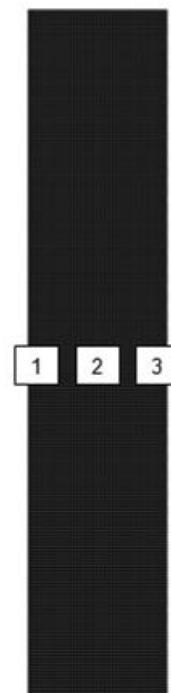
**Tabel 1.** Material properties Al AA1050

Material	Modulus Elastisitas, $E(\text{GPa})$	Poisson's Ratio, $\nu$
Al AA1050	71	0.33

Material properties Al AA1050

terangkum dalam Tabel 1. Jari-jari *fillet* dalam yang digunakan adalah 0.1 mm sedangkan rute yang digunakan adalah rute C yaitu *billet* diputar sebesar  $180^\circ$  di setiap *pass*.

Simulasi permodelan ECAP dengan variasi jumlah step, sudut belokan, fillet luar dan koefisien gesek ini dilakukan dengan menggunakan perbandingan tegangan geser dan regangan plastis pada masing-masing variasi. Dalam penelitian ini, nilai tegangan geser dan regangan plastis diamati di bagian tengah *billet* dengan 2 titik pengamatan seperti terlihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Titik pengambilan data pada *billet*.

Metode yang digunakan dalam optimasi proses adalah metode Taguchi. Metode Taguchi adalah metode yang sistematis dan efisien dalam mendesain sebuah produk maupun optimasi sebuah proses. Hal ini dikarenakan, metode Taguchi mencakup penyederhanaan rancangan penelitian dan studi kelayakan dari berbagai parameter sehingga waktu dan biaya bisa diminimalisasi. Metode Taguchi menyajikan rancangan penelitian berupa matriks ortogonal yang memberikan kombinasi yang berbeda dari parameter-parameter yang digunakan untuk setiap percobaan. Setelah itu, dari beberapa parameter dan level yang digunakan,

dilakukan simulasi dengan menggunakan *software* berbasis elemen hingga untuk memverifikasi pengaruh dari parameter-parameter yang digunakan dalam mendesain sebuah produk maupun optimalisasi sebuah proses.

Desain eksperimen pada metode *Taguchi* dilakukan dalam 2 tahapan yaitu menentukan jumlah level setiap faktor dan memilih matriks orthogonal. Faktor-faktor yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari jumlah *pass*, sudut belokan (*intersection angle*), jari-jari *fillet* luar dan koefisien gesek material. Jumlah level dari masing-masing faktor terangkum dalam table 2.

**Tabel 2.** Faktor dan level yang dipilih dalam proses *ECAP*

Faktor	Level 1	Level 2	Level 3
Jumlah Step	2	4	6
Sudut Belokan	90	100	110
Fillet Luar	2	2.5	3
Koefisien Gesek	0.05	0.075	0.1

**Tabel 3.** Matriks Orthogonal  $L_9(3^4)$

Simulasi	Parameter/Level			
	A	B	C	D
1	2	90	2	0.05
2	2	100	2.5	0.075
3	2	110	3	0.1
4	4	90	2.5	0.1
5	4	100	3	0.05
6	4	110	2	0.075
7	6	90	3	0.075
8	6	100	2	0.1
9	6	110	2.5	0.05

Matriks standar untuk eksperimen dengan jumlah level 3 adalah:  $L_9(3^4)$ ,  $L_{27}(3^{13})$  dan  $L_{81}(3^{40})$ . Matriks orthogonal yang dipilih adalah matriks yang memiliki nilai derajat kebebasan sama atau lebih besar dari nilai derajat kebebasan eksperimen. Dipilih matriks orthogonal  $L_9(3^4)$  dengan derajat kebebasan:

$$L_e(k^f) = L_9(3^4) \\ = (\text{banyak faktor}) \times (\text{banyak level} - 1) = 4 \times (3 - 1) = 8$$

Dimana:

L : rancangan bujur sangkar latin  
e : banyaknya baris atau eksperimen  
k : banyaknya level  
f : banyaknya kolom atau faktor

Matriks orthogonal yang digunakan dalam penelitian ini terangkum dalam tabel 3.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai tegangan geser dan regangan plastis di masing-masing titik pengambilan data terangkum pada Tabel 4 dan Tabel 5.

**Tabel 4.** Nilai tegangan geser di masing-masing titik pengambilan data

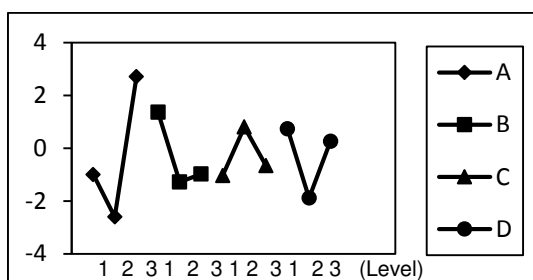
Simulasi Ke-	Tegangan Geser		
	1	2	3
1	0.9533	10.2447	1.4772
2	-2.4770	0.0691	-1.2692
3	-1.4750	-1.1777	-1.2256
4	0.7251	2.5326	-3.0130
5	-2.9209	-3.5561	-6.2883
6	-5.6200	-2.3189	-2.7572
7	2.4276	3.0986	0.0087
8	1.5459	-1.1187	1.1130
9	4.1536	1.2941	-3.4468

Dari Tabel 4 dan 5 dilakukan perhitungan kontribusi faktor utama yang terdiri dari jumlah step, sudut belokan, jari-jari *fillet* luar dan koefisien gesek di masing-masing titik pengambilan data untuk mendapatkan *setting* optimum dari proses *multi-pass ECAP*. Untuk mendapatkan *setting* optimum dari proses *multi-pass ECAP*, pemilihan *setting* tergantung dari karakteristik kualitas dari tegangan geser dan regangan plastis yaitu *larger is better*. Hal ini dikarenakan, semakin tinggi nilai tegangan geser dan regangan plastis akan meningkatkan tegangan *yield* pada *billet*, sehingga kekuatan dan keuletan juga akan meningkat.

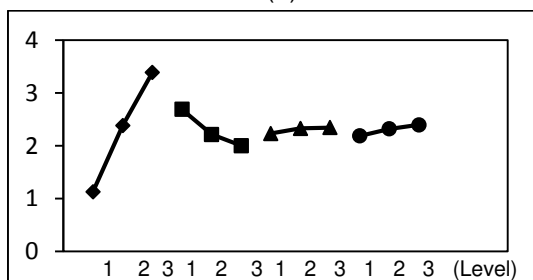
**Tabel 5.** Nilai regangan plastis di masing-masing titik pengambilan data

Simulasi Ke-	Regangan Geser		
	1	2	3
1	1.3361	2.1589	1.2348
2	1.0899	1.7893	1.0733
3	0.9674	1.5230	0.9791
4	2.8945	4.1172	2.4505
5	2.2272	3.4854	2.2134
6	2.0352	3.1193	2.1374
7	3.8423	5.9800	3.7267
8	3.3312	5.3957	3.5894
9	3.0057	4.5971	3.0726

Kontribusi faktor utama terhadap tegangan geser dan regangan plastis pada masing-masing titik pengambilan data ditunjukkan pada Gambar 3, 4 dan 5.



(a)

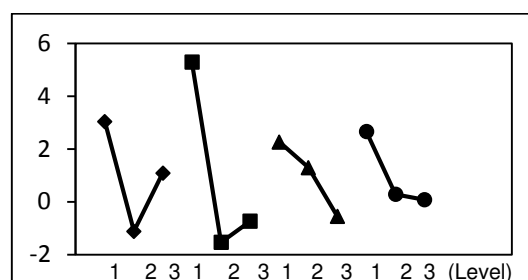


(b)

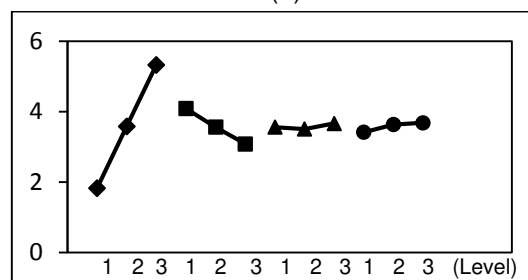
**Gambar 3.** Kontribusi faktor utama terhadap (a) tegangan geser dan (b) regangan plastis pada titik 1

Dari Gambar 3 (a) dapat dilihat bahwa *setting* optimum dari proses ECAP agar mendapatkan tegangan geser yang bagus pada titik pengambilan 1 adalah A3B1C2D1. Gambar 3 (b) menunjukkan bahwa *setting* optimum dari proses ECAP untuk

mendapatkan regangan plastis yang tinggi sehingga ukuran butiran yang dihasilkan semakin halus adalah A3B1C2D3. Dari pengaruh kontribusi faktor koefisien gesek terlihat perbedaan terhadap tegangan geser dan regangan plastis. Namun, dari Gambar 3 (b) menunjukkan bahwa pengaruh koefisien gesek terhadap regangan plastis tidak berpengaruh secara signifikan.



(a)

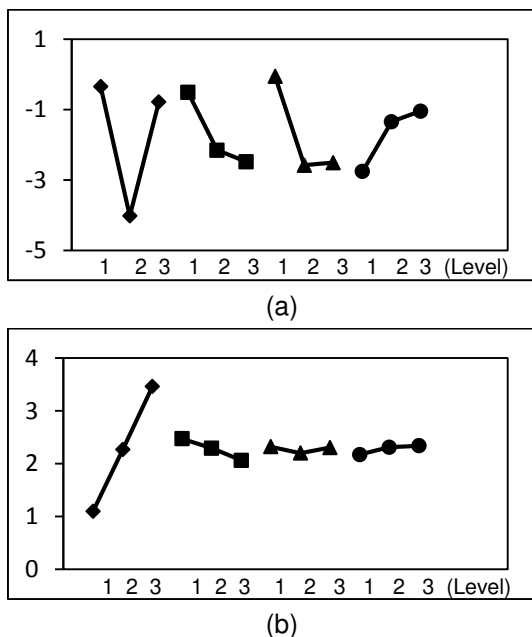


(b)

**Gambar 4.** Kontribusi factor utama terhadap (a) tegangan geser dan (b) regangan plastis pada titik 2

Dari Gambar 4 (a) dapat dilihat bahwa *setting* optimum dari proses ECAP agar mendapatkan tegangan geser yang bagus pada titik pengambilan 2 adalah A1B1C1D1. Sedangkan dari Gambar 4 (b) dapat dilihat bahwa *setting* optimum dari proses ECAP agar mendapatkan regangan plastis yang tinggi agar ukuran butiran yang dihasilkan semakin halus adalah A3B1C3D3.

Dari Gambar 5 (a) dapat dilihat bahwa *setting* optimum dari proses ECAP agar mendapatkan tegangan geser yang bagus pada titik pengambilan 3 adalah A1B1C1D3. Gambar 5 (b) menunjukkan bahwa *setting* optimum dari proses ECAP agar mendapatkan regangan plastis yang tinggi agar ukuran butiran yang dihasilkan semakin halus adalah A3B1C1D3.



**Gambar 5.** Kontribusi factor utama terhadap (a) tegangan geser dan (b) regangan plastis pada titik 3

Dari gambar 3, 4 dan 5 terlihat bahwa bagian *billet* paling luar sangat dipengaruhi oleh jumlah *pass* dan koefisien gesek antara *billet* dan *dies*. Pada bagian dalam terlihat bahwa distribusi tegangan geser dan regangan plastis sangat dipengaruhi oleh beban yang diberikan kepada *billet*. Besarnya beban yang diberikan kepada *billet* sangat dipengaruhi jari-jari *fillet* luar dan sudut belokan.

Secara keseluruhan *setting* optimum dari proses multipass ECAP adalah A3B1C1D3, dimana *setting* optimum A3 memberikan arti bahwa jumlah step yang digunakan adalah 6 step, *setting* optimum B1 memberikan arti bahwa sudut belokan atau sudut intersection yang digunakan adalah 90°, *setting* optimum C1 memberikan arti jari-jari *fillet* luar akan optimal pada jari-jari 2 mm dan *setting* optimum D3 memberikan arti bahwa koefisien gesek yang digunakan sebesar 0,1.

#### KESIMPULAN

Dari hasil investigasi proses multi-pass ECAP pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa *setting* optimum dari proses multipass ECAP adalah A3B1C1D3 yaitu jumlah step sebanyak 6, sudut intersection sebesar 90°, jari-jari *fillet* luar

sebesar 2 mm dan koefisien gesek 0,1. Meningkatnya distribusi tegangan geser dan regangan plastis pada *billet* akan meningkatkan tegangan yieldnya, sehingga kekuatan dan keuletan material juga akan meningkat.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Saravanan, M., Pillai, R. M., Pai, B. C., Brahmakumar, M. dan Ravi, K. R., Equal channel angular pressing of pure aluminium analysis, *Bull. Material Sci.*, Vol.29, No.7, 679–684.
- [2] Jin, Y. G., Son, I. H., Kang, S. H. dan Im, Y. T., 2009, Three-dimensional finite element analysis of multi-pass equal channel angular extrusion of aluminium AA1050 with split dies, *Material Science and Engineering A.*, Vol.503, 152–155.
- [3] Basavaraj, P. V., Chakkingal, U. dan Kumar, T. S. P., 2008, Influence of friction in equal channel angular pressing-a study with simulation, *Metal*, Vol.5
- [4] Basavaraj, P. V., Chakkingal, U. dan Kumar, T. S. P., 2010, Influence of outer corner radius in equal channel angular pressing, *World Academy of Science, Engineering and Technology.*, Vol. 38, 714–720.
- [5] Hesam, G., Ali, S., Mohammad Sadegh, H. N., Fatemeh, A. dan Mehrdad, A., 2011, Modifying equal channel angular pressing (ECAP) for Cu-Al-Ni shape memory alloys processing, *IPCBE.*, Vol. 2, 72–75.